

고전압 전력 반도체 - 인피니언 경쟁사들과 차별화된 고 신뢰성 소자를 시장에 지속적으로 공급

전력 반도체 시장에서 세계 1위 지위 유지

인피니언 테크놀로지스는 전력 반도체 분야에서 10년 연속 세계 1위의 시장 지위를 고수하였다. 시장 조사기관인 IHS의 최신 조사에 따르면 전반적으로 경기가 저조한 가운데 인피니언이 11.8퍼센트의 시장점유율을 달성하였다. 전년도 점유율은 12퍼센트였다. 2위인 도시바(Toshiba)는 7.1퍼센트의 점유율을 달성하였고, 3위 미쯔비시(Mitsubishi)는 6.9퍼센트의 점유율을 차지하였다. 인피니언과 2위 경쟁사와의 격차는 4.7퍼센트 포인트로 전년도 3.8퍼센트 포인트 대비 더욱 벌어졌다. 2012년도 조사 기간에 전력용 반도체 총 시장 규모는 150억 달러로 전년대비 16퍼센트 가량 감소했다(2013. 12. 5 보도자료).

인피니언은 경쟁사들과의 격차를 더욱 벌리고, 1위 자리를 지키기 위해서 제품 혁신과 시스템 솔루션 등 가능한 모든 측면에서 노력하고 있다. 인피니언은 다년간에 걸쳐 축적된 경험과 매우 다양한 고객 애플리케이션에 대한 전문적인 이해를 바탕으로 고객들이 경쟁사 제품을 이용할 때보다 더 신속하게 성공할 수 있도록 제품, 솔루션, 서비스를 제공하고 있다.

전력 반도체는 전기 에너지를 변환하거나 전기 장비, 기계, 시스템을 제어해야 하는 모든 곳에서 필요하다. 자동차에서는 드라이브 트레인, 편의 장치(전동 윈도우 등), 안전 시스템(전동 스티어링 등) 등에 이용된다. 하이브리드차나 전기차는 전력용 반도체 없이는 움직일 수 없다. 전력 반도체는 모든 타입의 드라이브에서 전자 제어 시스템의 중요한 일부분을 담당한다. 전력 반도체는 고속 열차, 지역 열차, 대도시 및 교외 공공 교통 열차의 모터 제어에도 이용된다. 그 밖의 애플리케이션으로는 풍력 발전, 태양광 플랜트, 서버 전원공급장치, 노트북, 스마트폰, 태블릿 컴퓨터,

최근에는 에너지 효율에 대한 요구가 갈수록 더 높아짐으로써 다양한 애플리케이션에 고신뢰성이 요구되는 고전압 반도체 소자의 사용이 꾸준히 늘어나고 있다. 인피니언은 고전압용 바이폴라 소자와 IGBT 제품을 시장에 공급하고 있으며, 주어진 환경에 따른 소자의 수명, 최소한의 불량률, 높은 파워 싸이클링, 사용 지역의 고도에 따른 전압 안정성, 과전압/과전류 내량의 성능 개선을 통해 꾸준히 신뢰성을 쌓아가고 있다.

글/이공홍 기자(leekh@semiconnet.co.kr)

소비가전, 모바일 인프라, 조명 관리 시스템 등을 포함한다.

애플리케이션에 따라서 전력 반도체는 디스크리트 또는 모듈이나 스택으로 조립된 형태로 이용할 수 있다. 전력 반도체는 수 와트에서부터 수 메가와트 대에 이르는 전기 전류를 제어하고 변환한다. 끊임 없이 물리학적 한계를 높여가고 있는 전력 반도체는 스스로는 매우 적은 전류만을 필요로 하면서 다양한 애플리케이션이 더 높은 에너지 효율을 달성하도록 하고 있다.



김창민 부장



고전압 소자가 필요한 애플리케이션은 무엇입니까?

고전압소자를 정의 할 때 반도체 공급사 입장에서는 두 가지 형태의 소자를 말씀드릴 수 있습니다. 첫 번째가 바이폴라(다이오드와 사이리스터)소자이며 두 번째가 IGBT 소자입니다. 인피니언의 경우 바이폴라소자는 최대 9.5KV 제품을 시장에 공급하고 있으며 주요 타겟 애플리케이션은 classical HVDC(LCC), FACTS 시스템, 중/고전압 드라이브 그리고 펄스 파워 등입니다. IGBT소자의 경우 최대 6.5KV제품을 시장에 공급 중이며 주요 타겟 애플리케이션은 철도차량, 신재생에너지(풍력, 태양광, 연료전지, ESS 등) HVDC(VSC) 등이 있습니다.



인피니언 고전압소자의 기술적인 특징점은 무엇입니까?

높은 신뢰성과 선도적인 기술개발력으로 말씀드릴 수 있습니다. 인피니언은 세계 최초로 3.3KV 및 6.5KV Class 제품을 시장에 출시 했으며 트랜치 게이트 타입의 최대 용량인 1500A/3300V 및 650A/6500V소자를 시장에 공급하고 있습니다. 고 신뢰성이 확보된 소자를 지속적으로 공급한다는 것은 장기적인 기술개발과 시설투자가 없으면 불가능한 부분으로 인피니언의 경우 1990년대부터 세계적인 굴지의 고객사들과 함께 철도차량, 전력송배전 및 대용량 드라이브 부문에서 견고한 파트너십을 유지하며 애플리케이션에 대한 이해도를 높여왔으며 그 결과 경쟁사들과 차별화된 고 신뢰성 소자를 시장에 지속적으로 공급할 수 있었습니다.



고전압 소자에 대한 시장의 요구 조건은 무엇입니까?

시장의 요구 역시 신뢰성에 초점이 맞추어져 있습니다. 고전압 소자의 경우 철도차량, 전력 발전 및 송배전 등과 같이 고도의 신뢰성을 필요로 하는 애플리케이션에 사용되고 있으며 만에 하나 문제가 발생할 경우 그 결과가 여타 산업용 애플리케이션에 비해 매우 심각한 상황으로 전개가 될 수 있는 관계로 신뢰성의 확보는 가장 중요한 시장의 요구 사항이자 고압소자를 공급하는 반도체 업체가 끊임없이 개선하고 발전시켜 나가야 할 항목이라고 말씀 드릴 수 있습니다. 구체적인 신뢰성 항목의 경우 주위진 환경에 따른 소자의 수명, 최소한의 불량률, 높은 파워 싸이클링, 사용 지역의 고도에 따른 전압 안정성, 과전압/과전류 내량 등을 들 수 있습니다.

Q4

여러 업체에서 고전압 소자의 특성을 개선하는 기술들이 발표되고 있는데, 경쟁사보다 우위를 가질 수 있는 점은 무엇입니까?

마찬가지로 신뢰성이라고 말씀 드리고 싶습니다. 예를 들어 인피니언의 6.5KV IGBT의 경우 최초 시장에 선보인 2000년대 중반에서부터 지금까지 세계적으로 30만개 이상이 판매 되었습니다. 그 동안 동작환경 및 상호 시스템간의 상관 관계로 인한 여러 가지 예상치 못한 문제와 당면 했으며 신뢰를 바탕으로 한 고객사들과의 상호 협의를 통하여 지속적으로 제품에 대한 신뢰성 향상과 경쟁력 확보에 주력하였습니다. 이러한 결과는 원천 기술의 확보와 이를 발전시킬 수 있는 역량이 없으면 불가능한 부분이라고 하겠습니다.

Q5

고전압 소자를 개발하는데 가장 애로사항은 무엇입니까?

애플리케이션 관련 문제 발생을 방지하기 위해서는 고 전압 소자의 설계 및 생산 전 과정에 걸쳐 매우 특별한 관리가 필요합니다. 다시 말해 특별히 관리되는 고전압 소자의 웨이퍼, 좋지 못한 환경에서도 시스템의 안정성을 도모할 수 있는 하우징 설계 및 안정적인 소자 보호를 위한 내부구조 등 입니다.

예를 들어 현재 안정적으로 상용화되어 있는 고속철도의 경우 기후에 의한 습도의 문제, 구간에 따른 열악한 환경의 문제 등이 있습니다. 하지만 이러한 조건 속에서도 시스템의 최소 보장 수명이 20년의 기간을 충족할 수 있도록 소자의 품질 및 신뢰성을 높여야 하는 것이 반도체 공급사의 목표이자 애로사항 이라고 말씀 드릴 수 있습니다.

또한 시장의 요구사항인 전류용량의 증대도 새로운 기술 기반을 통해서 반도체 공급사에서 풀어야 할 숙제라고 할 수 있습니다.

Q6

고전압소자의 한계 전압은 얼마로 볼 수 있습니까?

현재 상용화 된 IGBT소자의 최고 전압인 6.5KV 이상의 전압을 가진 소자가 출시될 가능성은 지금껏 적다고 생각 합니다. 이는 기술적인 문제가 아닙니다. 왜냐하면 SiC 기술을 이용하여 6.5KV 이상의 소자를 만드는 것은 어려운 부분이 아니기 때문입니다. 결정적인 이유는 시장의 요구 사항이 6.5KV이상의 소자를 요구하기 보다는 시스템 설계로 6.5KV 이상의 전압을 극복하려고 하기 때문입니다. 예를 들어 고 전압 소자의 주요 애플리케이션인 HVDC 나 FACTS의 경우 소자의 직렬 연결이나 멀티 레벨 설계로 6.5KV이상의 요구 사항을 소화하고 있습니다.

Q7

향후 로드맵을 말씀해 주시죠?

이미 말씀 드린 바와 같이 향후 고전압 소자의 개발 방향은 전압 레벨의 향상이 아닌 현존하는 고전압 소자의 전류 용량 증대 및 소자의 동작 온도 향상에 초점을 맞추어 진행될 예정 입니다.



새로운 SiC 박막 웨이퍼 기술을 이용함으로써 쇼트키 다이오드의 성능과 신뢰성 향상

이 글에서는 인피니언 테크놀로지스의 새로운 thinQ!™ 5세대(G5) SiC 쇼트키 다이오드를 소개한다. G5에서는 고유의 새로운 제조 프로세스를 이용해서 커패시티브 전하 Q_c 와 포워드 전압 V_f 를 최소화하고 있다. 이 글에서는 또한 애플리케이션 테스트 결과를 이용해서 인피니언의 이전 세대 thinQ! G2 및 G3 제품과 비교해서 G5가 어떻게 향상되었는지 설명하고 있다.

글/Vladimir Scarpa, Uwe Kirchner, Rolf Gerlach, Ronny Kern, 인피니언 테크놀로지스

서론

실리콘 카바이드(SiC) 쇼트키 배리어 다이오드(schottky barrier diode: SBD)는 십여 년 전부터 시장에 등장했으며, 현재는 연간 수백만 개씩 판매되면서 현장에서 검증된 품질을 제공하고 있다. 이는 다시 말해서 이 기술이 성숙한 기술이 되었으며 완벽하게 신뢰할 수 있으며 성능이 뛰어난 소자로 자리잡고 있다는 것이다. 더욱이 최근에는 에너지 효율에 대한 요구가 갈수록 더 높아짐으로써 다양한 애플리케이션에 SiC 쇼트키 배리어 다이오드(SBD)의 사용이 꾸준히 늘어나고 있다. SiC SBD가 표준적으로 이용되고 있는 하이엔드 서버와 통신 장비 SMPS뿐만 아니라, 태양광 인버터, PC 실버박스, 모터 드라이브, 조명 등의 애플리케이션에서도 SBD의 사용이 계속해서 늘어나고 있다.

그림 1에서는 인피니언 테크놀로지스가 출시한 600V SiC SBD의 변천 과정을 보여주고 있다. 매 세대마다 더 우수한 가격대 성능비를 달성하도록 새로운 기술들을 적용함으로써 애플리케이션 차원에서 중대한 이점들을 가능하게 하고 있다.

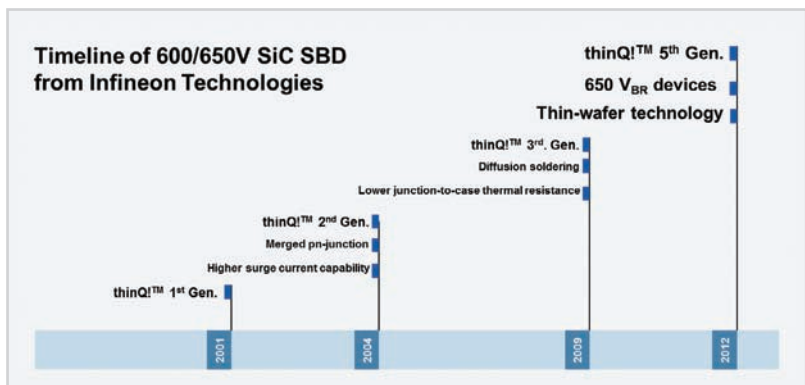
thinQ!™ 2세대(G2)에서는 디바이스 구조로 융합적 pn-접합부를 채택함으로써 고전류 조건 시에 다이오드 손실을 낮추도록 하고 그림으로써 디바이스의 서지

전류 용량을 향상시킬 수 있었다.

thinQ!™ 3세대(G3)에서는 확산 솔더링(diffusion soldering)^[3]이라고 하는 새로운 솔더 기법을 적용함으로써 디바이스 칩과 리드프레임 사이에 열 전도를 향상시키도록 했다. 그림으로써 가장 두드러진 결과로서 접합부-대-케이스 열 저항 $R_{th,jc}$ 를 낮출 수 있었고 결과적으로 디바이스 면적당 가능한 전력 소모를 극대화할 수 있었다.

새로운 thinQ!™ 5세대(G5)에서는 이전 세대들의 이와 같은 향상들에 더해서 새로운 기술들을 결합하고 있다. G5에서는 항복 전압(breakdown voltage)을 650V로 높였을 뿐만 아니라, 디바이스를 고유의 박막 웨이퍼 기술을 이용해서 제조하고^[4], 더 간소화된 셀 레이아웃을 채택함으로써 디바이스 커패시티브 전하를 낮추도록 하였다.

그림 1. SiC 다이오드 세대의 변천

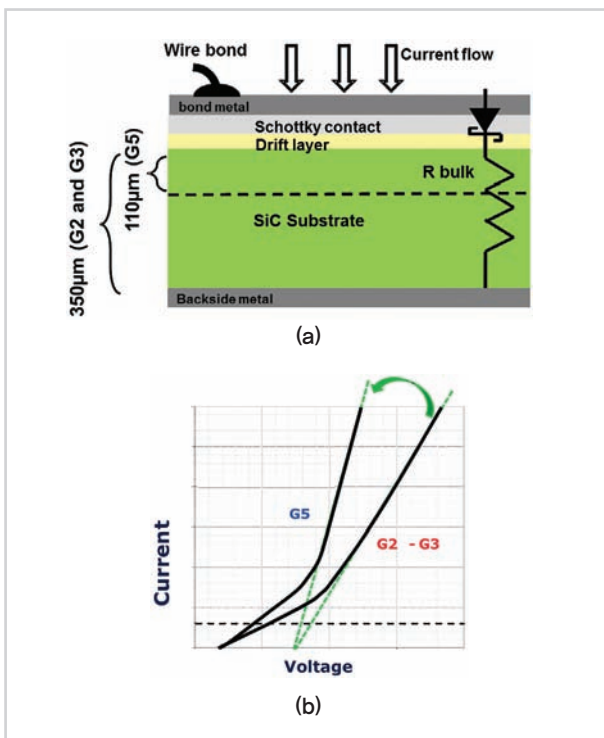


다음에서는 그림으로써 달성할 수 있게 된 주요한 이점들에 대해서 설명하고, G5와 이전 세대 SiC 다이오드 기술을 상세하게 비교하고 있다.

기술 설명

이전의 자료^[4]에서도 자세히 설명했듯이, Infineon은 수율

그림 2. (a) SiC 다이오드(후막 웨이퍼를 이용할 때와 박막 웨이퍼를 이용할 때), (b) 후막(G2, G3) 및 박막(G5) 기판을 이용했을 때 동일 크기 디바이스의 포워드 특성



에 어떤 부정적인 영향을 미치지 않으면서 웨이퍼 두께를 원래의 1/3까지로 줄일 수 있는 제조 프로세스 기술을 개발하였다. 기판(substrate)을 박막화함으로써 그림 2(a)에서 보듯이 다이오드의 차동 저항을 낮추고 있으며 디바이스의 동일한 단위 면적당 출력 특성에 확실한 영향을 미치고 있다(그림 2(b)).

650V SiC SBD에서는 기판(substrate)이 전체 다이오드 저항에서 대부분을 차지한다. 그러므로 박막 웨이퍼 기술을 이용하면 동일한 칩 크기로 다이오드 차동 저항을 크게 낮출 수 있다. 이것을 그래픽적으로 나타낸 것이 그림 2(b)의 수평선이다. 이 그림에서는 기판 두께가 각기 다른 2개 웨이퍼의 포워드 특성을 보여주고 있다.

G5 칩은 전기적 특성뿐만 아니라 열 동작 또한 향상시켰다. 칩이 얇아짐으로써 웨이퍼와 리드프레임 사이에 더 우수한 열 경로를 가능하게 한다. 그림으로써 동일한 전력 소모라 하더라도 G5 디바이스는 G2에 비해서 접합부 온도 상승이 더 낮다.

그림 3에서는 동일한 전력 소모로서 TO-220 패키지로 G2와 G5의 각기 다른 기술을 이용한 2개 SiC SBD 칩의 열 시뮬레이션을 보여준다. 이 그림에서는 G5는 리드프레임에 대한 열 전도가 향상됨으로써 칩 접합부 온도가 훨씬 낮다는 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라 G5 디바이스에서는 구리 리드프레임으로 열 확산이 더 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

또한 애플리케이션 차원에서는 열 동작이 향상됨으로써, 특히 긴 전류 펄스의 경우에, 더 높은 서지 전류 용량을 가능하게 한다.

G5 디바이스 제품

(1) 디바이스 설명

G5 제품들은 특정한 공칭 전류 및 접합부 온도 $T_j = 25^\circ\text{C}$ 로 포워드 전압 $V_f = 1.5\text{V}$ 가 되도록 설계되었다. 그림 4(a)에서는 동일한 공칭 전류일 때 3개 SiC SBD 제품군의 V_f 와 Q_c (역 전압 $V_R = 400\text{V}$ 일 때 총 커패시티브 전하)에 대해서 보여주고 있다. 그림 4(b)에서는 G2 및 G5의 몇몇

그림 3. $P_{\text{losses}} = 75\text{W}$ 로서 TO-220 패키지로 두께만 다르고 칩 크기는 동일한 SiC 다이오드의 열 동작. 온도를 색으로 표시하고 있다. 리드프레임 뒷면은 일정한 온도로 유지하고 있다. (a) 후막 칩 두께와 소프트 솔더링을 이용한 G2 디바이스, (b) 확산 솔더링을 이용한 박막 칩

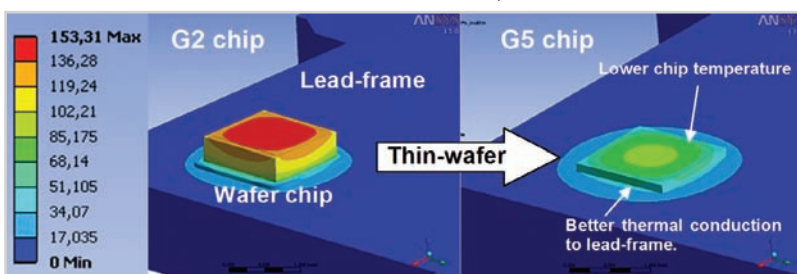
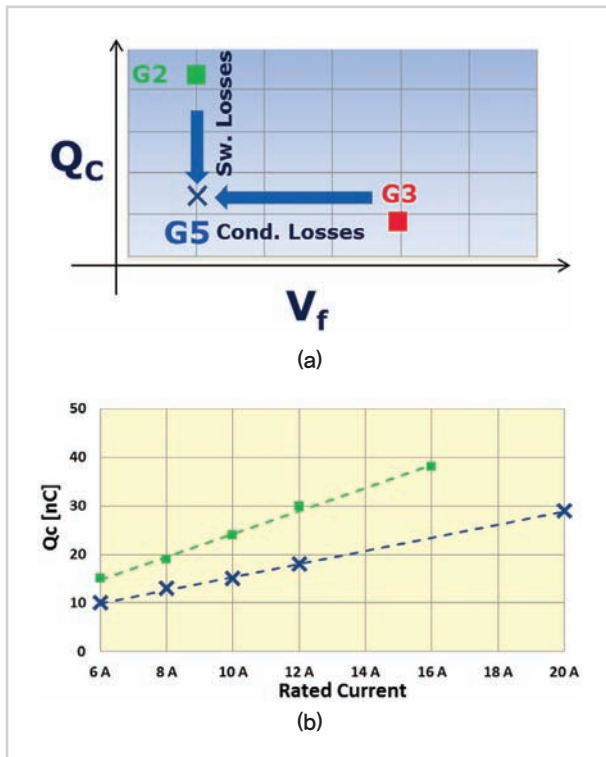


그림 4. (a) Q_c 및 V_f 측면에서 G5와 G2 및 G3 비교. 화살표는 손실이 더 낮다는 것을 나타낸다. (b) 다수의 전류 정격에 걸쳐서 G5와 G2의 Q_c 비교



전류 정격 디바이스들을 비교하고 있다. G5 디바이스에서는 Q_c 를 크게 낮추고 있다는 것을 알 수 있다(30~40퍼센트).

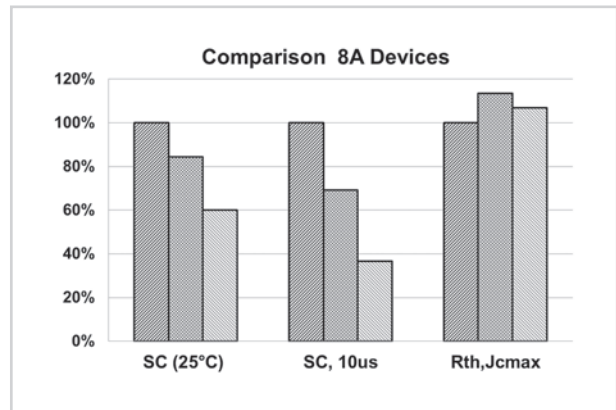
G2와 G5를 비교하면 동일한 V_f 로 총 전하 A_c 가 낮아졌다는 것을 알 수 있다. 그럼으로써 파란색 화살표로 표시한 것과 같이 스위칭 손실이 더 낮다. 또 한편으로 G3와 비교하면 G5는 동일한 Q_c 로 V_f 가 더 낮아짐으로써 화살표로 표시한 것과 같이 전도 손실이 더 낮다.

그럼으로써 4장에서 설명하고 있듯이 G5의 결과적인 성능은 전체적인 전력 범위에 걸쳐서 동일 정격 디바이스들을 비교했을 때 이전 세대들보다 더 우수하게 나타난다.

(2) 열 저항 및 서지 전류 용량

전력 소자의 신뢰성과 관련해서 또 다른 중요한 두 파라미터는 접합부와 케이스 사이의 열 저항 $R_{th,jc}$ 와 서지 전류 용량이다^[5]. 그러므로 이들 제품의 데이터시트에서는 $R_{th,jc}$, 최대 서지 전류 $I_{F,SM}$ (10ms 사인파 전류 펄스), 비반복적 피크 포위

그림 5. SiC SBD 세대들 사이에 서지 전류 용량($I_{F,MAX}$ 와 $I_{F,SM}$)과 열 저항 $R_{th,jc}$ 비교. 모든 데이터는 동일한 8A 디바이스들의 데이터시트에서 취한 것이며 이를 G5(ref = 100%)에 대해서 정규화하였다.



드 전류 $I_{F,MAX}$ (10 μ s 구형파 전류 펄스)를 파라미터로서 표기하고 있다.

그림 5에서는 TO-220 패키지인 8A 디바이스의 위 3개 파라미터를 표시하고 있다. 절대 값은 참고문헌^[6]에서 볼 수 있다. 열 동작이 더 우수하다는 점에서 예측할 수 있듯이 G5가 G2 및 G3보다 $R_{th,jc}$ 가 낮다. 뿐만 아니라 G5가 $I_{F,SM}$ 과 $I_{F,MAX}$ 가 다른 세대 제품들보다 항상 더 높다.

G5가 $R_{th,jc}$ 가 더 낮은 것은 박막 칩을 이용함으로써 열 소산이 더 우수해졌기 때문으로 설명할 수 있다(그림 3). 열 동작은 서지 전류 용량에도 영향을 미친다. 그러므로 G5 디바이스는 최대 접합부 온도에 도달하고 이러한 결과로서 손상이 일어나기까지 더 높은 전류 용량을 가능하게 하고 그러므로 더 높은 손실을 허용할 수 있다.

CCM PFC를 이용한 시험 결과

그러면 스텝업(부스트) 회로를 이용한 G5 디바이스의 성능 결과를 살펴보고자 하자. 이 회로는 $V_{in} = 230V_{ac}$ 를 이용해서 구동하며 CCM 동작을 위해서 PFC 컨트롤러를 포함하고 있다. 그림 6에서는 주요 파라미터들과 소자 값을 표시하고 있다.

그림 7(a)는 각기 다른 기술 세대를 이용해서 위에서 설명한 회로의 출력 전력에 따른 효율 곡선을 보여준다. 그림 7(b)는 G5에 대해서 정규화한 효율이다.

그림 3 부분에서도 설명했듯이 G5는 G2와 비교했을 때 Q_c

그림 6. 테스트에 이용된 CCM PFC 회로와 이 회로의 주요 파라미터/소자 값

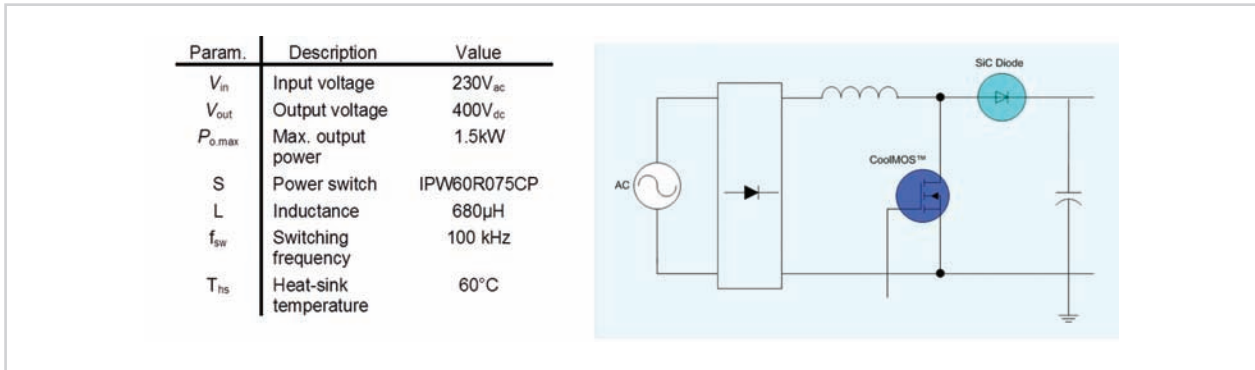
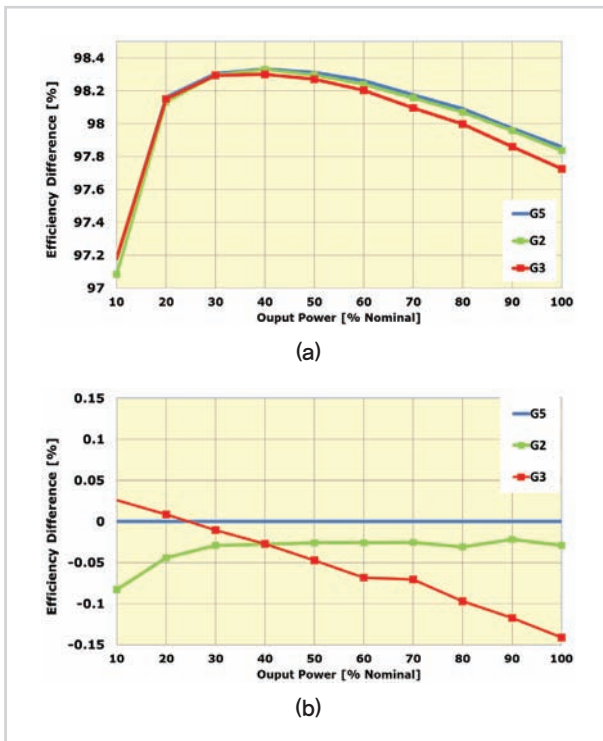


그림 7. G2, G3, G5의 8A 디바이스를 이용했을 때 전체적인 출력 범위에 걸쳐서 PFC 회로의 효율 결과. (a) 절대 값, (b) G5로 정규화한 값



가 더 낮고 그러므로 스위칭 손실이 더 낮으므로 경량 부하일 때 효율이 더 높다. 또 한편으로 G5는 G3과 비교했을 때 V_f 값이 더 낮고 그러므로 전도 손실이 더 낮으므로 대부하 조건일 때 효율이 더 우수하다. 그러므로 이들 3개 세대를 비교했을 때 G5는 $Q_c \times V_f$ 곱이 더 낮으며 그러므로 전체적인 전력 범위에 걸쳐서 더 우수한 효율을 달성한다.

결론

이 글에서는 인피니언 테크놀로지스가 새로운 고유의 박막 웨이퍼 기술을 적용해서 내놓은 새로운 세대의 SiC 쇼트키 배리어 다이오드 제품군에 대해서 소개하였다. 박막 웨이퍼 기술을 이용함으로써 달성하고 있는 전기적 및 열적 향상들에 대해서 설명하고 그림으로써 디바이스 성능을 어떻게 향상시키고 있는지 살펴보았다. PFC 회로를 이용한 테스트 결과를 살펴봄으로써 G5는 전도 손실과 스위칭 손실을 뛰어나게 조화시키고 있으며 전체적인 부하 범위에 걸쳐서 시스템으로 우수한 효율을 달성하도록 한다는 것을 확인할 수 있었다. **SN**

참고문헌

- [1] Friedrichs, P., "SiC Power Devices – Lessons Learned and Prospects After 10 Years of Commercial Availability", at the The International Conference on Compound Semiconductor Manufacturing Technology 2011. Available on-line on <http://gaasmantech.com/Digests/2011/papers/12b.1.pdf>
- [2] Bjoerk, F. et al, "2nd Generation 600V SiC Schottky Diodes Use Merged pn/Schottky Structure for Surge Overload Protection", APEC 2006, proceedings of.
- [3] Holz, M. et al, "SiC Power Devices: Products Improvement using Diffusion Soldering"; ICSCRM2008, proceedings of.
- [4] Rupp, R. et al, "Performance of a 650V SiC diode with reduced chip thickness", ICSCRM2011, proceedings of.
- [5] Holz et al, "Reliability considerations for recent Infineon SiC diode releases", Microelectronics Reliability, 2007.
- [6] thinQ!™ SiC diodes datasheets. Available in internet: www.infineon.com/sic.